

Государственный комитет РСФСР по делам
науки и высшей школы

Кузбшевский орден Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ
В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЛСТОПЛЕННЫХ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ И МИКРОСБОРОК

Методические указания
к лабораторной работе

Самара 1991

Составители: В.К.Буянов, Н.И.Буров,
М.Н.Пиганов

УДК 621.382

Изучение процессов термообработки в технологии изготовления толстопленочных интегральных микросхем и микросборок:Метод.указ.к лаборатор.работе /Куйбышев.авиационн-т;Сост.В.К.Буянов,Н.И.Буров, М.Н.Пиганов. Куйбышев, 1991. 12 с.

Рассмотрены процессы, протекающие в пастах для толстых пленок во время термообработки, методы формирования слоев толстопленочной микросхемы. Дано описание оборудования для термообработки.

Предназначены для студентов спец.23.03. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология РЭА"

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Рецензент В.Ф.С о к о л о в

Ц е л ь р а б о т ы — изучение процесса термообработки паст в толстопленочной технологии изготовления гибридных интегральных микросхем (ГИМС).

З а д а н и е:

1. Изучить процессы, происходящие в пастах за время термообработки.
2. Ознакомиться со способами изготовления многослойных толстопленочных плат.
3. Ознакомиться с техническими условиями (ТУ) на пасты.
4. Изучить оборудование для термообработки паст.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

В толстопленочной технологии производства ГИМС пассивные элементы (резисторы, конденсаторы, проводники) изготавливают путем нанесения на поверхность подложек различных по составу паст (резистивных, диэлектрических, проводящих) и последующего их вжигания. В качестве подложек используют, как правило, керамику.

Составы паст для толстопленочной технологии

Пасты для толстых пленок состоят из функционального материала, постоянного связующего и органических добавок (временного связующего). Функциональный материал и постоянное связующее в исходном состоянии представляют собой мелкодисперсные порошки с размерами частиц, обычно не превышающими 5 мкм для функционального материала и 30 мкм для постоянного связующего.

Функциональный материал обеспечивает электрические свойства пленок. В проводниковых пастах в качестве функционального материала используют металлы (золото, серебро, палладий, платина, медь, алюминий и др.) и их сплавы, в резистивных — металлы, сплавы и окислы ме-

таллов (серебро, палладий, рутений, молибден, индий, вольфрам, кадмий и др., а также некоторые их окислы).

В диэлектрических пастах функциональным материалом является стекло либо керамика, например на основе титаната бария, если необходимо иметь высокое значение диэлектрической проницаемости.

Постоянное связующее, представляющее собой легкоплавкие стекла, удерживает частицы функционального материала в контакте, обеспечивает закрепление композиции на подложке и стабильность электрических параметров.

Органические добавки - это жидкости определенного состава, которые вводятся в качестве связующего и для придания текучести смеси твердых материалов, что необходимо для нанесения паст.

Исключение из сказанного составляют полимерные пасты, у которых в качестве постоянного связующего используют различные полимерные материалы, обычно смолы. В качестве функционального материала используют в таких пастах также углерод (в виде сажи) для изготовления резистивных композиций. Полимерные пасты наносят обычно на подложки из стеклотекстолита, гетинакса и т.п. Возможность применения таких подложек обусловлена низкой температурой сушки полимерных паст (обычно не более 150°C). Применение полимерных паст значительно расширяет возможности внедрения толсто пленочной технологии в производстве радиоаппаратуры широкого потребления.

Рассмотрим вопросы термообработки, относящиеся к пастам со стекляными связующими.

Особенности термообработки паст

Требуемые физические и электрические свойства толстых пленок получаются в результате химических реакций в пастах, протекающих в процессе соответствующей термообработки, которую принято называть вжиганием. Процесс вжигания можно разделить на три этапа: сушка, удаление органического связующего и высокотемпературный обжиг. Часто под вжиганием понимают последние два этапа.

Операция сушки необходима для удаления из пасты органических добавок. Она выполняется на сравнительно несложном оборудовании и тщательно контролируется с целью получения качественных изделий. Плохо выполненная операция сушки влечет за собой появление дефектов - пузырение, трещины, - которые не всегда обнаруживаются при оконча-

тельном обжиге и могут привести к отказу готового изделия. Чрезмерно быстрая сушка (или сушка при слишком высокой температуре) может вызвать усадку или вспучивание композиции. Можно сушить отпечатки при комнатной температуре, но для этого потребуются много времени. Обычно сушку выполняют в печах с инфракрасным нагревом. Длина волны инфракрасного (ИК) излучателя должна быть более 3 мкм, тогда излучение проникает в пленку и равномерно по толщине сушит ее. После сушки слоев можно наносить другие пасты и проводить вжигание. Сушка проводится при температуре до 200°C с активной вытяжной вентиляцией. В процессе сушки удаляются только наиболее летучие органические вещества.

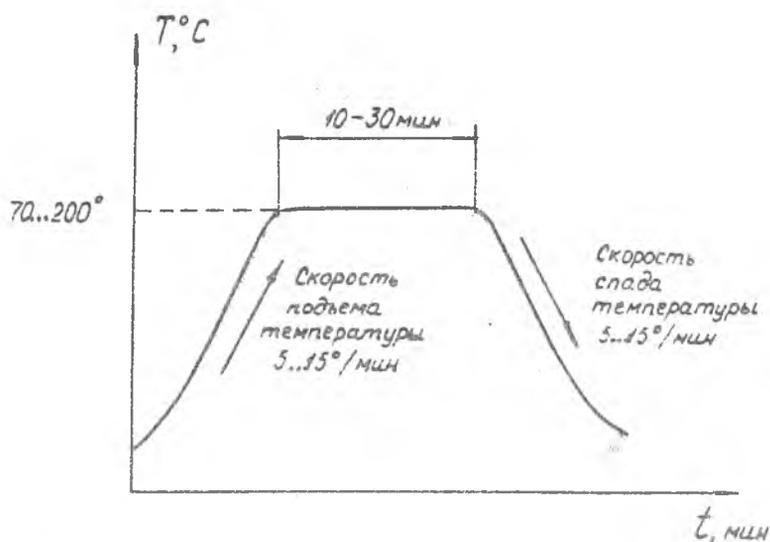
Удаление органического связующего, оставшегося после сушки, происходит, как правило, непосредственно перед высокотемпературным обжигом при температуре 400–500°C. Обычно в температурном профиле печи предусматривают участок для полного удаления органического связующего. Необходимо предотвращать попадание удаленных веществ в высокотемпературную зону.

Высокотемпературный обжиг, определяющий наиболее важные свойства полученных элементов, происходит при температурах 550...1000°C (в зависимости от типа паст), когда происходит плавление стекол.

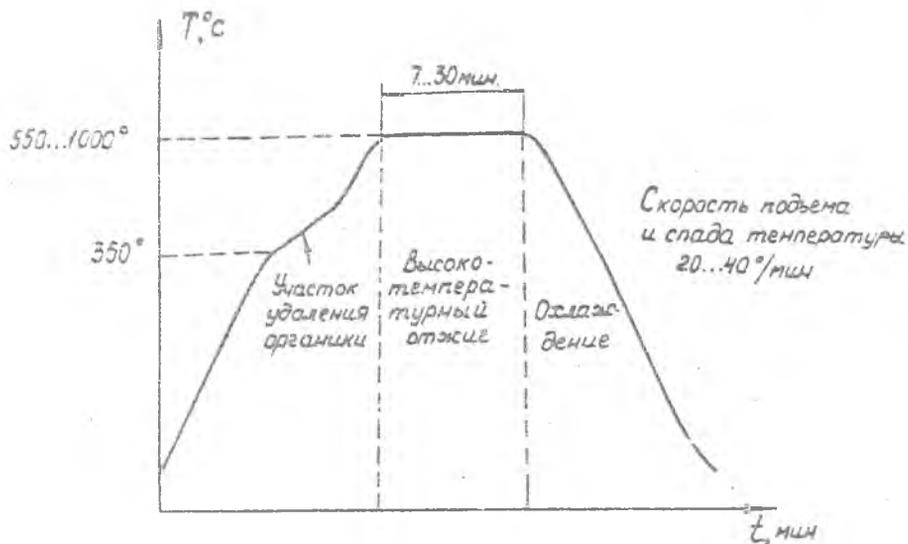
Режим термообработки, представляющий собой зависимость температуры в зоне обработки от времени, принято называть температурным профилем печи. Типичные температурные профили сушки и вжигания показаны соответственно на рис. 1 и рис. 2.

При высокотемпературном отжиге возникают реакции между компонентами пасты, пастой и материалом подложки, пастой и атмосферой в печи и между компонентами разных паст. Рассмотрим наиболее важные реакции. В проводниковых пастах к таким реакциям, протекающим при нормальных температурах и регулируемой атмосфере в печи, относят прежде всего взаимодействие между металлическими частицами. При низких температурах вжигания химических реакций нет, возникают только точечные контакты. При промежуточных температурах происходит спекание и образование сплавов. При более высокой температуре материалы плавятся, образуя структуру, близкую к гомогенной.

Как правило, удельное сопротивление проводниковой композиции уменьшается при повышении температуры вжигания вследствие лучшего спекания и повышения качества контактов. При слишком высокой температуре вследствие плавления и агломерации частиц удельное сопротивление может возрасти. Кроме того, агломерация может привести к ухуд-



Р и с. 1. Температурный профиль сушки



Р и с. 2. Температурный профиль обжига

менил вязкости из-за уменьшения содержания металла в поверхностном слое, Удельное сопротивление повышается и при образовании сплавов.

Кроме того, для проводниковых композиций является существенным взаимное растворение стеклофазы подложки и постоянного связующего пасты, так как это взаимодействие обеспечивает адгезию проводника к подложке.

В резистивных композициях вследствие значительно большего числа компонентов и малого содержания функциональных материалов реакции сильно усложняются. Возможны окислительно-восстановительные реакции между компонентами стекла и функциональным материалом типа



ухудшающие воспроизводимость результатов вжигания, поэтому в резистивных пастах избегают применения легко восстанавливающихся окислов. Кроме того, возможна диффузия металлической фазы проводника в резистор. В результате изменяются свойства обеих композиций. Так диффузия серебра из проводника в резистор в системе $Pd - PdO - Ag$ приводит к несовместимости этих композиций. Такое взаимодействие приобретает большое значение для резисторов малой длины.

Поскольку скорость реакции сильно зависит от температуры, для хорошей воспроизводимости результатов необходимо точно соблюдать режим вжигания резистивных композиций. Отклонение температуры на $2...5^{\circ}$ влечет за собой отклонение удельного сопротивления на $5...30\%$. Для сравнения: варьирование температурой при вжигании проводниковых паст в диапазоне $50...100^{\circ}C$ не вызывает заметного изменения удельного сопротивления в определенной области температур. Кроме того, многие резистивные композиции очень чувствительны к изменению атмосферы в печи.

Реакции между частицами функционального материала, описанные для проводниковых паст, приобретают еще большее значение в резистивных композициях.

При вжигании диэлектрических паст наиболее важно предотвратить образование сквозных отверстий, которые могут привести к межслойным замыканиям, и других дефектов, которые ухудшают диэлектрические свойства. Такие дефекты могут являться следствием карбонизации органического связующего, в результате чего в пленке образуется углерод, ухудшающий диэлектрические характеристики. К тому же образовавшийся углерод может привести к образованию пор в результате реакций восстановления

ния окислов стекла и выделения окиси углерода:



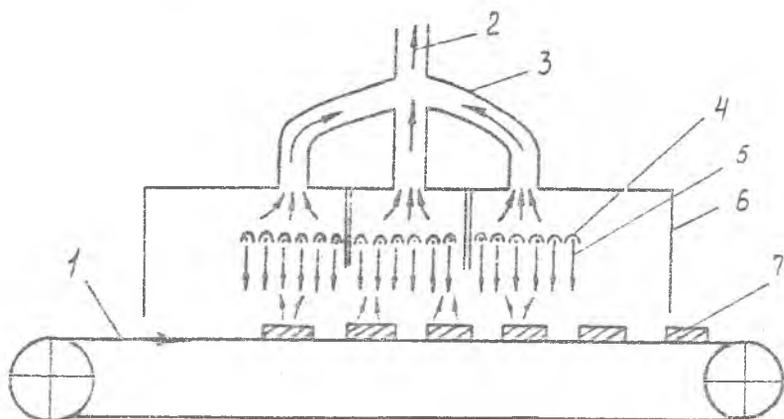
Однако в силу указанной и других причин полностью избежать пор не удастся, поэтому диэлектрические пленки обычно трижды последовательно наносят и вжигают. Реакции с углеродом возможны в резистивных и проводниковых пастах, поэтому следует очень тщательно проводить процесс сушки.

Следует помнить, что в большинстве случаев реакции, протекающие в процессе изготовления толстых пленок не являются законченными. Реакция протекает во времени, и их скорость находится в степенной зависимости от температуры. Время и температура являются чрезвычайно важными факторами управления реакциями.

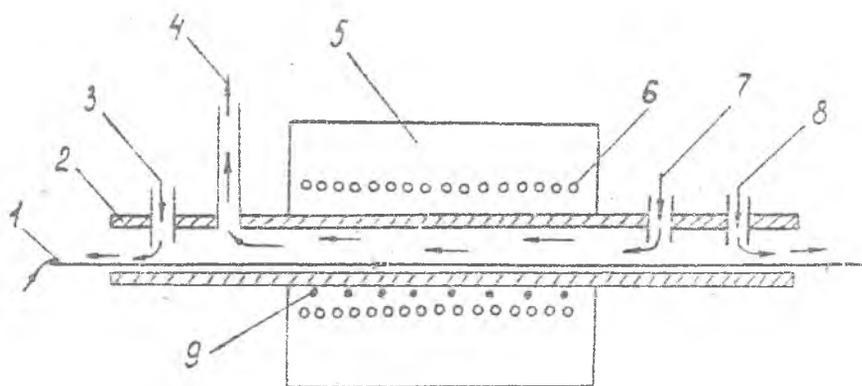
При изготовлении многослойных гибких интегральных микросхем (ГИМС) соблюдают определенную последовательность формирования слоев. Обычно первым наносят и вжигают проводниковый слой, затем диэлектрический, далее опять проводниковый. Эта последовательность при необходимости повторяется. В результате формируются проводники и нижние обкладки конденсаторов, затем межслойная изоляция и диэлектрики конденсаторов, далее верхние обкладки и проводники и т.д. Последним наносят и вжигают резистивный слой. Как правило, температура вжигания последующего слоя ниже температуры вжигания предыдущего. Это позволяет свести к минимуму нежелательное взаимодействие между смежными слоями. При изготовлении плат, содержащих резисторы с большим разбросом сопротивлений, используют до трех типов паст с различными значениями удельных сопротивлений. Если в этом случае применяются пасты одной серии, то благодаря одинаковым режимам термообработки становится возможным одновременное их вжигание. Нанесение и сушку выполняют раздельно для каждого слоя. Использование на одной подложке резистивных паст различных серий нежелательно, так как при повторном вжигании на более низкой температуре сопротивление первого резистивного слоя, как правило, существенно возрастает вследствие окисления, что снижает выход годных изделий.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для сушки паст используется промышленная конвейерная печь с ИК-нагревом типа ПС-07. Схематично установка изображена на рис. 3.



Р и с. 3. Схема печи сушки ПС-07: 1-конвейерная лента; 2-поток удаляемых газов; 3-трубы вытяжной вентиляции; 4-ИК-излучатели; 5-направленное ИК-излучение; 6-кожух; 7-подложки



Р и с. 4. Схема печи вибрирования ПЭК-8: 1-конвейерная лента; 2-металлический муфель; 3-воздушный барьер на входе; 4-поток удаляемых газов; 5-теплоизоляция; 6-электрические нагреватели; 7-подача рабочей атмосферы; 8-воздушный барьер на выходе; 9-термопары

Печь содержит три зоны сушки с ИК-излучателями, установленными над конвейером. Испаряющиеся вещества удаляются при помощи вытяжной вентиляции, подведенной к каждой зоне. Рабочий диапазон печи (до 450°C), автоматическое поддержание температуры в зонах с высокой точностью ($\pm 5^{\circ}$) позволяют качественно выполнять сушку и удаление органического связующего. Скорость конвейера регулируется в пределах 20...400 мм/мин.

Вжигание выполняют в конвейерной печи с электрическими нагревателями типа ПЭК-8. Она содержит 8 зон с отдельным автоматическим регулированием температуры. Температурный диапазон печи - до 1000°C , точность поддержания температуры $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Скорость конвейера 0... ..200 мм/мин с погрешностью не более $\pm 1\%$. Конструкцию и принцип действия печи ПЭК-8 поясняет рис. 4. В печи предусмотрена возможность вжигания паст в заданной атмосфере. Большинство паст вжигается на воздухе. Однако в последнее время находят применение пасты, например на основе меди, для вжигания которых необходима неокисляющая среда. В качестве такой среды обычно используют азот. В печи имеется специальный вход для подачи газа в рабочее пространство. Газовый поток регулируется вентилем и контролируется при помощи расходомера. С целью предотвращения попадания наружной атмосферы в рабочее пространство на входе и выходе печи создают воздушные барьеры путем подачи сжатого воздуха. Поток газов в печи направлен навстречу движению конвейера, что исключает попадание органических продуктов газовой выделенной в горячую зону.

Заданный температурный профиль печи получают путем расчета температур в зонах и скорости конвейера с последующей корректировкой полученных значений. Корректировка необходима в силу того, что всегда имеет место отличие температур подложек на конвейере от средней температуры зоны.

Измерение профиля проводят, как правило, три помощи передвижной термопары, прикрепленной к конвейеру и подвешенной к самолесу. Измерение выполняют через 2-3 ч после включения печи, за это время в печи устанавливается тепловое равновесие. при длительной работе появляются отклонения от установленного профиля, поэтому проводят его периодическую проверку.

Правильный температурный профиль обеспечивает получение заданных характеристик пленок.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с правилами эксплуатации печей ПС-07 и ПЭК-8.
2. Изучить по ТУ режимы термообработки предложенной пасты.
3. Выполнить сушку нанесенного слоя и проконтролировать внешний вид при помощи микроскопа. Измерить сопротивление указанных преподавателем элементов.
4. Выполнить вжигание высушенного слоя, одновременно контролируя температурный профиль при помощи термометра и самописца.
5. Провести контроль внешнего вида согласно методике, приведенной в ТУ.
6. Измерить сопротивление и геометрические размеры (длина, ширина, толщина) полученных элементов и рассчитать сопротивление квадрата согласно методике, приведенной в ТУ.
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
8. Проанализировать полученный температурный профиль и результаты измерений путем сопоставления с данными в ТУ.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Температурный профиль термообработки предложенной пасты.
3. Таблицы и графики результатов.
4. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких компонентов составляют пасты для толстых пленок? Роль постоянного связующего в пастах.
2. Назовите этапы термообработки толстых пленок. Поясните процессы, происходящие на каждом этапе.
3. Какое влияние оказывает температурный профиль на параметры полученных пленок?
4. Каково назначение временного связующего в пастах? Какое влияние оказывает процесс сушки на результат термообработки?
5. Перечислите основные типы реакций, протекающие в проводящих и резистивных пастах при вжигании. Поясните процесс изготовления диэлектрических слоев.
6. Поясните устройство и принцип работы оборудования для термообработки.

7. Как получить заданный температурный профиль? В какой среде осуществляют термообработку?

8. Какова последовательность формирования слоев? Особенности вжигания резистивного слоя.

Библиографический список

Хамер Д., Биггерс Дж. Технология толстопленочных гибридных интегральных схем. М.: Мир, 1975. 496 с.

Красов В.Г., Петраускас Г.Б., Чернозубов Г.Б. Толстопленочная технология в СВЧ микроэлектронике. М.: Радио и связь, 1985. 168 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМООБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОЛСТОПЛЕНЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ И МИКРОСБОРОК

Составители: Буянов Виктор Константинович,
Буров Николай Иванович,
Пиганов Михаил Николаевич

Редактор Е.Д.Антонова
Техн.редактор Н.М.Каленюк
Корректор Е.Г.Филиппова

Подписано в печать 25.03.91. Формат 60x84¹/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.п.л. 0,7.
Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 100 экз.
Заказ № 29. Бесплатно.

Куйбышский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии Куйбышевского
авиационного института. 443001 г. Самара, ул.Ульяновская, 18.